

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-069144

(43)Date of publication of application : 07.03.2003

(51)Int.Cl.

H01S 5/12

(21)Application number : 2001-258167

(71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE

(22)Date of filing : 28.08.2001

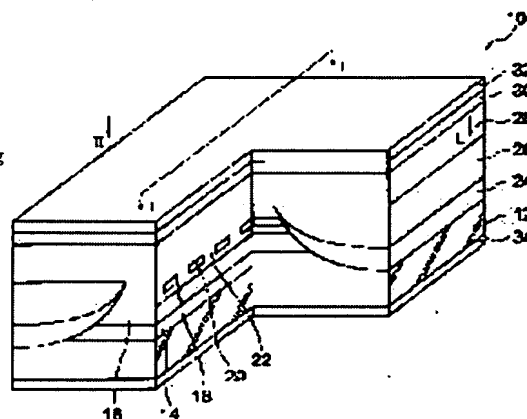
(72)Inventor : FUNAHASHI MASAKI
TANITSU RYOSUKE
KASUKAWA AKIHIKO

(54) DISTRIBUTED FEEDBACK SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a distributed feedback semiconductor laser element which stably oscillates in the oscillation wavelength longer than the peak wavelength of the optical gain distribution of an active layer, shows a large sub-mode suppression ratio (SMSR), assures good single mode property of vertical mode even when amount of de-tuning is large, and also assures higher resistance for reflected returning beam.

SOLUTION: A laminate structure of InP buffer layer 14, an active layer 16, a InP spacer layer 18 in the thickness of 200 nm, a GaInAs diffraction grating 20, and a InP clad layer 22 embedding the diffraction grating is provided on a InP substrate 12. The band gap wavelengths of active layer and diffraction grating are about 1540 nm and about 1510 nm. The laminate structure is etched in the shape of mesa-stripe and a current pinching regions of pn isolation are formed in both sides of the mesa-stripe. An absorption coefficient for the peak wavelength of the optical gain distribution of active layer is larger than that for the oscillation wavelength. Moreover, the light emitting end surface and rear end surface are coated to provide the end surface reflectivity of 10% and 90%.



10 異担形面11のDFBレーザ素子 22 異担形面12のDFBレーザ素子
12 InP基板 24 p-InPクラッド層
14 InPバッファ層 26 n-InP層
16 GaInAs活性層 28 p-InP第2クラッド層
18 p-InPスペーサ層 30 p-GaInAsコンタクト層
20 異担形面 32 p-InP層

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-69144
(P2003-69144A)

(43) 公開日 平成15年3月7日 (2003.3.7)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 S 5/12

H 0 1 S 5/12

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-258167(P2001-258167)

(22) 出願日 平成13年8月28日 (2001.8.28)

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 舟橋 政樹

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 谷津 亮介

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(74) 代理人 100096231

弁理士 稲垣 清 (外1名)

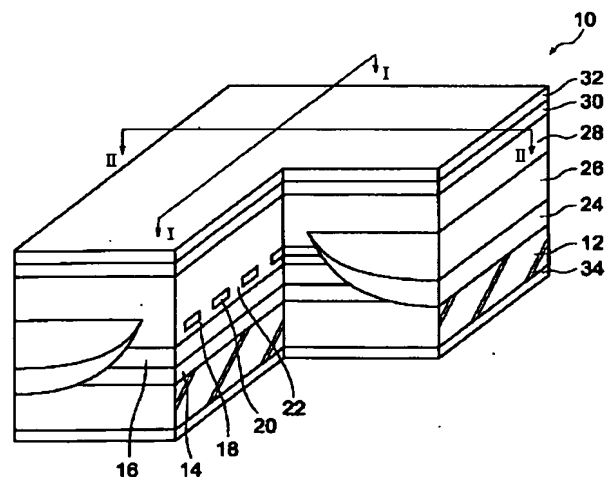
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分布帰還型半導体レーザ素子

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 活性層の光利得分布のピーク波長より長い発振波長で安定して発振し、大きな副モード抑圧比 (S M S R) を示し、かつデチューニング量が大きくても縦モードの単一モード性が良好で、反射戻り光耐性が高い分布帰還型半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】 InP基板12上に、InPバッファ層14、活性層16、膜厚200nmのInPスペーサ層18、のGaInAs回折格子20、及び回折格子を埋め込んだInPクラッド層22の積層構造を備える。活性層及び回折格子のバンドギャップ波長は、約1530nm、及び約1510nmである。積層構造はメサストラップにエッチング加工され、その両側にはpn分離の電流狭窄領域が形成する。活性層の光利得分布のピーク波長に対する吸収係数が、発振波長に対する吸収係数よりも大きい。また、出射端面及び後端面は、それぞれの端面反射率が10%及び90%になるようにコーティングされている。



10 実施形態例1のDFBレーザ素子 22 回折格子を埋め込んだ
12 n-InP基板 p-InP第1クラッド層
14 n-InPバッファ層 24 p-InP層
16 MQW-SCH活性層 26 n-InP層
18 p-InPスペーサ層 28 p-InP第2クラッド層
20 回折格子 30 p-GaInAsコンタクト層
32 p-電極

【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層の光利得分布とは独立に発振波長 λ_e を選択できる波長選択構造を共振器構造内の活性層の近傍に備えた、分布帰還型半導体レーザ素子において、

活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} に対する吸収係数 α_{\max} が発振波長 λ_e に対する吸収係数 α_e よりも大きくなる化合物半導体層で形成された吸収領域が、共振器構造内に設けられ、

かつ出射端面側の端面反射率が10%以上30%以下であることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ素子。

【請求項2】 活性層の光利得分布とは独立に発振波長 λ_e を選択できる波長選択構造を共振器構造内の活性層の近傍に備えた、分布帰還型半導体レーザ素子において、

活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} に対する吸収係数 α_{\max} が発振波長 λ_e に対する吸収係数 α_e よりも大きくなる化合物半導体層で形成された吸収領域が、共振器構造内に設けられ、

吸収領域のバンドギャップ波長 λ_g と、発振波長 λ_e とが、 $0 < \lambda_e - \lambda_g \leq 100 \text{ nm}$ の関係にあり、かつ出射端面側の端面反射率が10%以上30%以下であることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ素子。

【請求項3】 所定使用温度範囲のうちの少なくとも低温領域で、 $\alpha_{\max} > \alpha_e$ が成立することを特徴とする請求項1又は2に記載の分布帰還型半導体レーザ素子。

【請求項4】 使用温度の変化に応じてデチューニング量の絶対値 $|\lambda_e - \lambda_{\max}|$ が変化し、使用温度範囲内の使用温度でのデチューニング量の絶対値 $|\lambda_e - \lambda_{\max}|$ の最大値が30 nm以上となることを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の分布帰還型半導体レーザ素子。

【請求項5】 出射端面側の端面反射率が10%以上20%以下であることを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の分布帰還型半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、分布帰還型半導体レーザ素子に関し、更に詳細には、広い温度範囲で安定した単一モード発振が可能であって、発振波長のモードと副モードの抑圧比（SMSR）が大きく、しかもデチューニング量の絶対値を大きくしても、光出力効率が高く、単一モード性が良好で、反射戻り光耐性が高い、特に光通信用の光源として最適な分布帰還型半導体レーザ素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】分布帰還型半導体レーザ（以下、DFBレーザと言う）は、屈折率（複素屈折率）の実部または虚部が周期的に変化する回折格子を共振器内部に有し、特定の波長の光にだけ帰還がかかるようにすることによ

り、波長選択性を備えたレーザである。屈折率が周期的に周囲と異なる化合物半導体層からなる回折格子を活性層の近傍に備えたDFBレーザでは、DFBレーザの発振波長 λ_e が、回折格子の周期 Λ と導波路の実効屈折率 n_{eff} に基づいて $\lambda_e = 2 n_{\text{eff}} \Lambda$ の関係式によって決定されるので、回折格子の周期 Λ と導波路の実効屈折率 n_{eff} とを調節することにより、活性層の光利得のピーク波長 λ_{\max} とは独立に発振波長 λ_e を設定することができる。

【0003】例えば、DFBレーザの発振波長 λ_e を活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} よりも短波長側に設定すると、微分利得が大きくなるので、DFBレーザの高速変調特性などが向上する。また、DFBレーザの発振波長 λ_e を活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} 程度に設定すると、室温での閾値電流が小さくなる。また、DFBレーザの発振波長 λ_e を活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} よりも長波長側に設定すると、温度特性が良好になり、高温での動作特性や、高温あるいは大電流注入時の高光出力特性が向上する。

【0004】ところで、従来のDFBレーザでは、発振波長 λ_e が活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} より短波長側にあっても、或いは長波長側にあっても、しきい値電流を低く抑えられる、単一モード動作を保持するなどの理由から、発振波長 λ_e は、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} から約 $\pm 20 \text{ nm}$ 以内の近い波長範囲に設定されている。また、従来のDFBレーザでは、回折格子を構成する化合物半導体層は、活性層のバンドギャップ・エネルギー及び発振波長のエネルギーよりもかなり大きいバンドギャップ・エネルギーを有する。つまり、回折格子を構成する化合物半導体層のバンドギャップ波長 λ_g は、通常、発振波長 λ_e から100 nm以上短波長側にあつて、該化合物半導体層は発振波長 λ_e に対して透明な、ほとんど光吸収のない、即ち損失のない層である。そして、屈折率の周期的変化を示す回折格子は、前記化合物半導体層を積層した後、エッチングして周期的に並列に存在する層の列を形成することにより、作製されている。

【0005】ここで、更に、従来のDFBレーザを具体的に説明すると、従来のDFBレーザは、図5（a）に示すように、 λ_e が1550 nmで、 λ_g が1200 nmから1300 nmの範囲であつて、 $\lambda_g < \lambda_e \sim \lambda_{\max}$ である第1の従来例と、図5（b）に示すように、 λ_e が1550 nmで、 λ_g が1650 nmであつて、 $\lambda_{\max} \sim \lambda_e < \lambda_g$ である第2の従来例とに大別できる。尚、 $\lambda_e \sim \lambda_{\max}$ 又は $\lambda_{\max} \sim \lambda_e$ は、 λ_e と λ_{\max} との大小関係は不定ないしどちらでも良いということを意味する。第1の従来例では、 $\lambda_e - \lambda_g = \text{約} 300 \text{ nm}$ であり、一方、第2の従来例では $\lambda_e - \lambda_g = \text{約} -100 \text{ nm}$ である。ここで、図5（a）及び（b）の実線の曲線は横軸の波長に対する活性層の光利得分布を示

3

し、破線の曲線は横軸の波長に対する回折格子層の吸収（損失）量を示す曲線である。また、 λ_e は回折格子の周期と導波路の実効屈折率で決まるDFBレーザの発振波長、 λ_g は回折格子層のバンドギャップ波長、 λ_{\max} は活性層の光利得分布のピーク波長、回折格子層の埋め込み層、通常はInP層のバンドギャップ波長は λ_{InP} （=920nm）である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来のDFBレーザでは、回折格子の周期を調節してDFBレーザの発振波長 λ_e を活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} から離して設定した場合、DFBレーザの設定発振波長 λ_e ではなく、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} でファブリ・ペロー発振する現象が生じることがあった。また、DFBレーザの設定発振波長 λ_e で発振していても、DFBレーザの設定発振波長 λ_e の発振モードと活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} 付近のモードとの副モード抑圧比（SMSR）が、十分に大きく取れないという問題があった。例えば従来のDFBレーザでは、DFBレーザの発振波長 λ_e のデチューニング量によって異なるものの、副モード抑圧比（SMSR）は35dBから40dBの範囲であって比較的小さかった。この結果、従来のDFBレーザでは、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} に対するDFBレーザの発振波長 λ_e のデチューニング量（ $\lambda_e - \lambda_{\max}$ ）を大きくすることが出来ないという問題が生じていた。

【0007】更に説明すると、DFBレーザの発振波長 λ_e が回折格子層のバンドギャップ波長 λ_g より大きな第1の従来例は、発振波長 λ_e の吸収損が小さく、従って閾値電流が小さく、光出力・注入電流特性が良好であるという利点を有するものの、回折格子層と回折格子の埋め込み層、例えばInP埋め込み層との屈折率差が小さいので、回折格子と活性層との距離を小さくする必要がある。その結果、回折格子層の膜厚、デューティ（Duty）比によって結合係数が大きく変動し、同じ特性のDFBレーザを安定して作製することが難しい。また、DFBレーザの発振波長 λ_e に対する吸収係数を α_e 、活性層のバンドギャップ波長、つまり活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} に対する吸収係数を α_{\max} とすると、 $\alpha_e \approx \alpha_{\max} \approx 0$ であって、活性層の光利得分布のピーク波長付近のファブリ・ペロー発振モード及びDFBレーザの発振モードともに抑制効果が小さい。従って、デチューニング量の絶対値 $|\lambda_e - \lambda_{\max}|$ を大きくすると、縦モードの単一モード性が低下するので、デチューニング量の絶対値 $|\lambda_e - \lambda_{\max}|$ を大きくできないという問題があった。

【0008】回折格子層のバンドギャップ波長 λ_g がDFBレーザの発振波長 λ_e がより大きな第2の従来例は、回折格子層とInP埋め込み層との屈折率差が大きいので、回折格子と活性層との距離を大きくすることが

4

でき、その結果、回折格子層の膜厚、デューティ（Duty）比によって結合係数が変動し難いので、同じ特性のDFBレーザを安定して作製することができるから、製品歩留りが高いという利点を有する。一方、発振波長 λ_e に対する吸収損失が大きく、吸収型の回折格子となるために、閾値電流が大きく、光出力・注入電流特性が良好でないという問題を有する。また、 $\alpha_e \approx \alpha_{\max} > 0$ であって、ファブリ・ペロー発振モード及びDFBレーザの発振モードともに抑制効果があるものの、デチューニング量の絶対値 $|\lambda_e - \lambda_{\max}|$ を大きくすると、縦モードの単一モード性が低下するので、デチューニング量の絶対値 $|\lambda_e - \lambda_{\max}|$ を大きくできないという問題があった。

【0009】デチューニング量の絶対値 $|\lambda_e - \lambda_{\max}|$ を大きくできないという上記の問題は、特にDFBレーザを広い温度範囲、例えば-40℃～+85℃というような広い温度範囲で動作させる場合に顕著であった。通常、DFBレーザの動作温度が変化すると、動作温度の変化に対する活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} の変化量と、同じく動作温度の変化に対するDFBレーザの発振波長 λ_e の変化量とに差があるため、広い温度範囲にわたり活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} とDFBレーザの発振波長 λ_e の差、つまりデチューニング量の絶対値 $|\lambda_e - \lambda_{\max}|$ を一定に保つことはできなかった。

【0010】具体的には、例えば、InGaAsP系の半導体材料では、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} の温度依存性は約0.4nm/℃であり、DFBレーザの発振波長 λ_e の温度依存性は約0.1nm/℃である。従って、-40℃から+85℃までの温度範囲でDFBレーザを動作させると、-40℃のデチューニング量と+85℃のデチューニング量との間で、以下の計算のように、デチューニング量は約40nmの差がある。

$$(0.4 - 0.1) \times (85 - (-40)) = 37.5 \text{ nm}$$

【0011】全動作温度範囲で単一モード性や変調特性などを良好に保つためには、ある温度（例えば室温）でのデチューニング量に注目すると、その温度でのデチューニング量のある一定の範囲内に収める必要がある。従って、デチューニング量を大きくすることが困難である。上述の例では、高温（例えば+85℃）でデチューニング量を0nm程度にして、光利得の低下が著しい高温動作時で、光利得分布のピーク波長 λ_{\max} で発振するように設計すると、低温（例えば-40℃）におけるデチューニング量は+40nm程度の大きい値になってしまう。このようにデチューニング量が大きい場合は、DFBレーザの設定発振波長 λ_e ではなく、光利得分布のピーク波長 λ_{\max} でファブリ・ペロー発振してしまうため、単一モード動作を実現することができなくなっ

もう。

【0012】ところで、DFBレーザの設定発振波長 λ_e と活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} とが離れている場合に、つまりデチューニング量が大きい場合に、光利得分布のピーク波長 λ_{\max} でのファブリ・ペロー発振を抑制するために、従来、レーザ端面の少なくとも一方に無反射コーティングを施して端面反射率を数%以下に低くすることが試みられている。そして、光出力効率の観点から、通常、無反射コーティングはレーザ出射端面側に施されている。

【0013】しかし、このように、レーザの出射端面の端面反射率を低くすると、反射戻り光耐性が低下してしまうという問題があった。これは、レーザから出射した光が外部で反射して再びレーザ自身に戻ってきたときに、レーザの出射端面反射率が低いために、反射戻り光がレーザ共振器内部まで戻り易くなるからである。そして、反射戻り光がレーザ共振器まで戻ると、レーザ発振の状態が影響を受けて雑音が誘起され、レーザ動作が不安定になる。上述の例で、低温（例えば-40℃）におけるデチューニング量が+40nm程度と大きくなり、ファブリ・ペロー発振し易くなる対策として、無反射コーティングを施すと、反射戻り光耐性が低下してしまうことになる。

【００１４】以上の説明から判るように、ＤＦＢのレーザの設定発振波長 λ_e と活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} が離れているときに、つまりデチューニング量が大きいときに、光利得分布のピーク波長 λ_{\max} のファブリ・ペロー発振を抑制し、かつ、反射戻り光耐性を低下させないように出来る、信頼するに足る技術は、従来は、確立されていなかった。

【0015】そこで、本発明の目的は、上記のような問題を解決するため、第1には、DFBレーザの発振波長 λ_e の吸収損失が小さく、かつ活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} の吸収損失が大きい、従って閾値電流が小さく、かつ光出力-注入電流特性が良好で、デチューニング量の絶対値 $|\lambda_e - \lambda_{\max}|$ を大きくしても、縦モードの良好な単一モード性を維持できる、半導体レーザ素子を提供することであり、第2には、DFBレーザの回折格子層の膜厚、デューティ(Duty)比によって結合係数が変動し難い、従って製品歩留りが高い構成のDFBレーザを提供することである。

【0016】更に、本発明の目的は、以上の目的を達するDFBレーザであって、しかも、DFBレーザの設定発振波長 λ_e と活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} が離れているときでも、つまりデチューニング量が大きいときでも、光利得分布のピーク波長 λ_{\max} でのファブリ・ペロー発振を抑制し、かつ、反射戻り光耐性が高い分布帰還型半導体レーザ素子を提供することである。つまり、本発明の目的は、デチューニング量の絶対値を大きくしても、縦モードの単一モード動作が保持でき、し

かも反射戻り光に対して強い耐性を有するDFBレーザを提供することである。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明者は、上述の出射端面の端面反射率と、光出力効率、縦モードの単一モード性、及び反射戻り光耐性との関係を調べるために、以下の実験を行った。

実験例

先ず、図6を参照して、実験に供したDFBレーザ素子40の構成を説明する。図6は実験に供したDFBレーザ素子の構成を示す斜視図、図7は図6の矢視III-IIIの分布帰還型半導体レーザ素子の断面図である。DFBレーザ素子40は、発振波長 λ_e を1550nmに、回折格子材料のバンドギャップ波長 λ_g を1510nmに、活性層の25℃付近の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} を1530nmに設定した埋め込みヘテロ型DFBレーザ素子である。DFBレーザ素子40は、n-InP基板42上に、MOCVD法等によって、順次、エピタキシャル成長させた、膜厚1 μ mのn-InPバッファ層44、MQW-SCH活性層46、膜厚200nmのp-InPスペーサ層48、周期 Λ が240nmであって、膜厚20nmのGaInAsP層からなる回折格子50、及び回折格子50を埋め込んだp-InP第1クラッド層52の積層構造を備えている。

【0018】 n - InP 基板42の上部、及び積層構造を構成する n - InP バッファ層44、活性層46、 p - InP スペーサ層48、回折格子50、及び回折格子50を埋め込んだ p - InP 第1クラッド層52は、活性層46の幅が $1.5\mu\text{m}$ になるメサストライプにエッチング加工されている。そして、メサストライプの両側には、 p - InP 層54及び n - InP 層56からなるキャリアブロック構造が形成されている。更に、DFBレーザ素子40は、 InP 第1クラッド層52及び n - InP 層56上に、膜厚 $2\mu\text{m}$ の p - InP 第2クラッド層58、及び高濃度でドーピングされた p - GaInAs コンタクト層60を備え、また、コンタクト層60上に Ti/Pt/Au の積層金属膜からなる p 側電極62、及び基板12の裏面に AuGeNi からなる n 側電極64を備えている。

【0019】上述のDFBレーザ素子40の構成を備え、後端面に90%の高反射率の膜をコーティングし、前端面には反射率が1%、5%、10%、20%、30%、及び50%（但し、30%は劈開端面のままの状態、つまりコーティング無しである）となるようにコーティング膜を施したものを実験例1から6のDFBレーザ素子とした。そして、それぞれの実験例のDFBレーザ素子の光出力効率〔W/A〕、単一モード歩留り、反射戻り光耐性歩留り、及び総合歩留りを測定ないし算出した。その結果は、表1に示す通りである。

【表 1】

実験例	前端面 反射率 (%)	光出力 効率 (W/A)	単一モード 歩留り (%)	戻り光耐 性歩留り (%)	総合 歩留り (%)
1	1	0.37	95	18	17.1
2	5	0.34	91	50	45.5
3	10	0.32	85	80	68.0
4	20	0.30	77	86	66.2
5	30	0.28	68	90	61.2
6	50	0.25	45	98	44.1

【0020】単一モード歩留りとは、25℃における副モード抑圧比（SMSR）が35dB以上のDFBレーザ素子のうち、-40℃～+85℃の全温度範囲でSMSRが35dB以上を保つDFBレーザ素子の割合である。反射戻り光耐性歩留りとは、外部の反射点での反射が-15dB（約3%程度）あるときの相対強度雑音

（RIN）が-120dB/Hz以下であるDFBレーザ素子の割合である。総合歩留りは、単一モード歩留りと反射戻り光耐性歩留りとの積として算出されている。

【0021】表1から判る通り、前端面の反射率が大きくなると、光出力効率と単一モード歩留まりは低下するが、反射戻り光耐性歩留まりは増加する。単一モード歩留まりと反射戻り光耐性歩留まりとの積である総合歩留まりは、出射端面の端面反射率が10%から30%の範囲で高くなっている。また、0.3[W/A]以上の光出力効率が必要であるとすると、出射端面の端面反射率の範囲は、10%以上20%以下である。

【0022】上記目的を達成するために、上述の実験の結果を踏まえて、本発明に係る分布帰還型半導体レーザ素子（以下、第1の発明と言う）は、活性層の光利得分布とは独立に発振波長 λ_e を選択できる波長選択構造を共振器構造内の活性層の近傍に備えた、分布帰還型半導体レーザ素子において、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} に対する吸収係数 α_{\max} が発振波長 λ_e に対する吸収係数 α_e よりも大きくなる化合物半導体層で形成された吸収領域が、共振器構造内に設けられ、かつ出射端面側の端面反射率が10%以上30%以下であることを特徴としている。

【0023】第1の発明並びに後述の第2の発明で、活性層の近傍とは、活性層で発生した光を感知できる範囲内にあることを意味する。活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} に対する吸収係数が、半導体レーザ素子の発振波長 λ_e に対する吸収係数よりも大きくなるような吸

収領域を設け、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} 付近のモードのみ選択的に吸収して、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} 付近のファブリ・ペロー発振を抑制する。これにより、発振波長 λ_e の波長選択性を高め、かつ副モード抑圧比（SMSR）を大きくして、単一モード性を向上させることができる。よって、製品歩留りが向上する。換言すれば、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} 付近のファブリ・ペロー発振を選択的に抑制するので、デチューニング量（ $\lambda_e - \lambda_{\max}$ ）を大きくしても、縦モードの良好な単一モード性を維持できる。また、高い動作温度でも、単一モードを維持できるので、高温での高出力特性が良好である。

【0024】本発明に係る別の分布帰還型半導体レーザ素子（以下、第2の発明と言う）は、活性層の光利得分布とは独立に発振波長 λ_e を選択できる波長選択構造を共振器構造内の活性層の近傍に備えた、分布帰還型半導体レーザ素子において、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} に対する吸収係数 α_{\max} が発振波長 λ_e に対する吸収係数 α_e よりも大きくなる化合物半導体層で形成された吸収領域が、共振器構造内に設けられ、吸収領域のバンドギャップ波長 λ_g と、発振波長 λ_e とが、 $0 < \lambda_e - \lambda_g \leq 100 \text{ nm}$ の関係にあり、かつ出射端面側の端面反射率が10%以上30%以下であることを特徴としている。

【0025】第2の発明の吸収領域とは、化合物半導体層で形成された領域であって、その領域のバンドギャップ波長 λ_g と発振波長 λ_e とが、 $0 < \lambda_e - \lambda_g \leq 100 \text{ nm}$ の関係にある領域を言い、回折格子層のみならず、回折格子層以外の化合物半導体層を含む広い概念である。また、従来技術の説明では、前述のように、回折格子層のバンドギャップ波長を λ_g と定義しているが、第2の発明では、従来技術の λ_g の定義を広げて、 λ_g を、広く吸収領域のバンドギャップ波長と定義してい

る。

【0026】第2の発明は、第1の発明の効果に加えて、更に次の効果を有する。第2の発明では、吸収領域のバンドギャップ波長 λ_g 、つまり回折格子層のバンドギャップ波長 λ_g と分布帰還型半導体レーザ素子の発振波長 λ_e との関係が、 $0 < \lambda_e - \lambda_g \leq 100 \text{ nm}$ の関係にあって、分布帰還型半導体レーザ素子の発振波長 λ_e が回折格子層のバンドギャップ波長 λ_g より大きいので、発振波長 λ_e の吸収損が小さく、従って閾値電流が小さく、光出力-注入電流特性が良好であるという利点を有する。更には、回折格子の埋め込み層をInP層としたとき、第2の従来例と同様に、回折格子層とInP埋め込み層との屈折率差が大きいので、回折格子と活性層との距離を大きくすることができ、その結果、回折格子層の膜厚、デューティ(Duty)比によって結合係数が変動し難いので、同じ特性の分布帰還型半導体レーザ素子を安定して作製することができるから、製品歩留りが高いという利点を有する。つまり、第2の発明は、第1の従来例と第2の従来例のそれぞれの利点を合わせ有する。

【0027】第2の発明では、 $\lambda_e - \lambda_g$ の値は、0より大きく100 nm以下であり、さらに好適には0より大きく70 nm以下の範囲にある。また、第2の発明では、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} は、図8(a)及び(b)に示すように、 $\lambda_g < \lambda_{\max} < \lambda_e$ 、又は $\lambda_{\max} < \lambda_g < \lambda_e$ の関係にある。 $\lambda_g < \lambda_{\max} < \lambda_e$ のときには、これにより、温度特性が良好になり、高温での動作特性や、高温あるいは大電流注入時の高光出力特性が向上する、例えば $\lambda_e - \lambda_{\max} = 20 \text{ nm}$ に、 $\lambda_e - \lambda_g = 40 \text{ nm}$ に設定する。また、 $\lambda_{\max} < \lambda_g < \lambda_e$ のときには、これにより、 α_{\max} を大きくすることができるので、ファブリペローモードを十分に抑制する効果があり、例えば $\lambda_e - \lambda_{\max} = 30 \text{ nm}$ 、 $\lambda_g - \lambda_{\max}$ は10 nm以上20 nm以下である。

【0028】第1及び第2の発明では、吸収領域での、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} に対する吸収係数 α_{\max} と、発振波長 λ_e に対する吸収係数 α_e との差、 $\alpha_{\max} - \alpha_e$ は大きければ大きいほど本発明の効果を奏する上で好ましいが、実用的には、導波路損失に換算して $\alpha_{\max} - \alpha_e \geq 1 \text{ cm}^{-1}$ であれば、本発明の効果を得ることができる。 $\alpha_{\max} - \alpha_e \geq 5 \text{ cm}^{-1}$ であれば、さらに顕著な効果を得ることができる。また、吸収領域では、 α_e が実質的に0であること、つまり吸収領域が発振波長 λ_e に対して透明であることが好ましい。これにより、吸収領域を設けても、発振波長の導波路損失が増加せず、閾値電流値や発光効率が劣化しない。

【0029】更に、第1及び第2の発明では、量子効果による急峻な吸収端を有する吸収領域を設けることにより、例えば、急峻な吸収端を有する量子井戸層や量子ドット層を選択的な吸収領域として設けることにより、活

性層の利得ピーク波長に対する吸収係数 α_{\max} と、発振波長に対する吸収係数 α_e との間に大きな差を実現することができる。なお、ここで、量子化されているとは、吸収領域を構成する化合物半導体層のサイズが、電子の量子力学的波長程度まで薄く、量子効果を示すことができるサイズであることを意味する。

【0030】更に、第1及び第2の発明では、波長選択構造が回折格子として構成されていても良いし、吸収領域として機能する選択的吸収層が、活性層の近傍に回折格子とは別に形成されていてもよい。なお、選択的吸収層を回折格子とは別に形成する場合、選択的吸収層は、活性層を挟んで回折格子と反対側に配置しても、或いは回折格子と同じ側に配置しても、問題はない。但し、反対側に配置した方が、活性層との距離を任意に選択可能であるから、設計の自由度は大きくなる。

【0031】また、第1及び第2の発明で、 $\alpha_{\max} > \alpha_e$ は所定使用温度範囲の全域で成立することが好ましいが、所定使用温度範囲の一部、例えば、0℃以下の低温領域のみにおいて、 $\alpha_{\max} > \alpha_e$ が成立するだけでも良い。その場合、特に低温における λ_{\max} 付近のファブリ・ペローモードの発振を抑制することができる。更には、第1及び第2の発明では、使用温度の変化に応じてデチューニング量の絶対値 $|\lambda_e - \lambda_{\max}|$ が変化し、使用温度範囲内の使用温度でのデチューニング量の絶対値 $|\lambda_e - \lambda_{\max}|$ の最大値が30 nm以上となったとしても、縦モードの単一モード性や変調特性が良好で、しかも光出力効率が高く、反射戻り光耐性が良好であるという効果がある。第1及び第2の発明で、光出力効率を高める点で、出射端面側の端面反射率を10%以上20%以下にすることが好ましい。

【0032】

【発明の実施の形態】以下に、実施形態例を挙げ、添付図面を参照して、本発明の実施の形態を具体的かつ詳細に説明する。

実施形態例1

本実施形態例は、第1及び第2の発明に係る分布帰還型半導体レーザ素子を一体的に一つのDFBレーザ素子に適用した実施形態の一例であって、図1は本実施形態例の半導体レーザ素子の構造を示す部分断面斜視図、図2は図1の矢視I-Iの半導体レーザ素子の断面図である。尚、実施形態例1で示す化合物半導体層の組成、膜厚等は本発明の理解のための例示であって、本発明はこれらの例示に限定されるものではない。本実施形態例の分布帰還型半導体レーザ素子10は、発振波長 λ_e を1550 nmに、回折格子材料のバンドギャップ波長 λ_g を1510 nmに、活性層の25℃付近の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} を1530 nmに設定した埋め込みヘテロ型DFBレーザ素子であって、実験で使用したDFBレーザ素子70と同じ積層構造を備え、出射端面及び後端面は、それぞれの端面反射率が10%及び90%に

なるようにコーティングされている。

【0033】DFBレーザ素子10は、 n - InP 基板12上に、MOCVD法等によって、順次、エピタキシャル成長させた、膜厚 $1\mu\text{m}$ の n - InP バッファ層14、MQW-SCH活性層16、膜厚 200nm の p - InP スペーサ層18、周期 Λ が 240nm であって、膜厚 20nm の GaInAsP 層からなる回折格子20、及び回折格子20を埋め込んだ p - InP 第1クラッド層22の積層構造を備えている。活性層16の光利得分布のピーク波長 λ_g は約 1530nm であり、回折格子20のバンドギャップ波長 λ_g は約 1510nm である。

【0034】 n - InP 基板12の上部、及び積層構造を構成する n - InP バッファ層14、活性層16、 p - InP スペーサ層18、回折格子20、及び回折格子20を埋め込んだ p - InP 第1クラッド層22は、活性層16の幅が $1.5\mu\text{m}$ になるメサストライプにエッチング加工されている。そして、メサストライプの両側には、 p - InP 層24及び n - InP 層26からなるキャリアブロック構造が形成されている。更に、DFBレーザ素子10は、 InP 第1クラッド層22及び n - InP 層26上に、膜厚 $2\mu\text{m}$ の p - InP 第2クラッド層28、及び高濃度でドーパされた p - GaInAs コンタクト層30を備え、また、コンタクト層30上に Ti/Pt/Au の積層金属膜からなる p 側電極32、及び基板12の裏面に AuGeNi からなる n 側電極34を備えている。

【0035】本実施形態例では、バンドギャップ波長 λ_g が約 1510nm の GaInAsP で回折格子20を形成することにより、回折格子20では、バンド端のその影響によって、活性層16の光利得分布のピーク波長の 1530nm 付近で多少の吸収が生じるものの、発振波長として設定した 1550nm 付近の波長に対しては、ほとんど吸収が起らない。即ち、活性層の光利得分布のピーク波長に対する吸収係数 α_{max} が発振波長に対する吸収係数 α_e よりも大きくなっている。尚、回折格子20のバンドギャップ波長 λ_g を活性層の光利得分布のピーク波長 1530nm とDFBレーザ10の発振波長 1550nm の間に設定することによって、大きな吸収係数の差を実現することもできる。

【0036】本実施形態例のDFBレーザ素子10を評価するために、上述の積層構造を備えたウエハを劈開によりチップ化した。そして、出射端面に端面反射率が10%の膜を、後端面には端面反射率が90%の高反射率の膜をコーティングしてレーザ特性を測定したところ、以下に示すような測定結果を得た。DFBレーザ素子10は、良好な単一モードで安定して発振し、副モード抑圧比として $45\text{dB}\sim 50\text{dB}$ の大きな値が得られた。尚、回折格子のバンドギャップ波長が大きい従来タイプのDFBレーザ素子（以下、従来型DFBレーザ素子と

言う）では、このような大きな副モード抑圧比は得られ難く、おおよそ $35\text{dB}\sim 40\text{dB}$ 程度である。

【0037】また、閾値電流も 9mA と低く、発光効率も従来型DFBレーザ素子と比較して遜色はなかった。従って、回折格子20の発振波長に対する吸収は十分に小さいと思われる。そして、回折格子20が活性層16の光利得分布のピーク波長付近のモードに対してのみ選択吸収的に働き、利得ピーク波長付近のファブリ・ペロー発振が抑制されたことにより、副モード抑圧比が改善されたと考えられる。さらに、素子ごとでの結合係数のばらつきも小さく、均一性の良い特性が得られた。本実施形態例では、回折格子20のバンドギャップ波長 λ_g （ 1510nm ）を従来のDFBレーザ素子の回折格子のバンドギャップ波長 λ_g 、例えば 1200nm よりも大きくしたことにより、回折格子20の屈折率と周囲の InP 層の屈折率の差が大きくなるので、 p - InP スペーサ層18の膜厚を厚くして回折格子20を活性層16から離しても、十分に大きな回折格子結合係数を得ることができるため、回折格子の膜厚やデューティ比によって結合係数が変動しにくい。従って、結晶成長プロセスや作製プロセスでのトレランスが緩和され、安定した製造を行うことができる。

【0038】また、高温（ $+85^\circ\text{C}$ ）におけるデチューニング量は、約 0nm （ $\lambda_{\text{max}}\sim\lambda_e$ ）であるため、しきい値電流も 26mA と良好であった。更に、低温（ -40°C ）において、デチューニング量が $+40\text{nm}$ 程度であり、出射端面反射率も10%であるにもかかわらず、単一モード歩留まりは85%と良好であった。このことは、回折格子20によって λ_{max} 付近のファブリ・ペローモードが選択的に吸収されて、発振が抑制されていることに起因していると考えられる。また、出射端面の端面反射率が10%であるので、光出力効率が0.32〔W/A〕と高く、反射戻り光耐性歩留りも高かった。

【0039】以下に、図3及び図4を参照して、実施形態例1のDFBレーザ素子10の作製方法を説明する。図3（a）から（c）、及び図4（d）と（e）は、それぞれ、実施形態例1のDFBレーザ素子10を作製する際の工程毎の断面図である。図3は図1の矢視I-Iでの断面であり、図4は図1の矢視II-IIでの断面である。まず、MOCVD結晶成長装置を用い、成長温度 600°C で、 n - InP 基板12上に、順次、膜厚 $1\mu\text{m}$ の n - InP バッファ層14、MQW-SCH活性層16、膜厚 200nm の p - InP スペーサ層18、及び膜厚 20nm の GaInAsP 回折格子層20'をエピタキシャル成長させて、図3（a）に示すように、積層構造を形成する。

【0040】次いで、回折格子層20'上に電子ビーム（EB）描画用レジストを約 100nm の厚さで塗布し、EB描画装置により描画して、周期 Λ が 240nm

の回折格子パターン 21 を形成する。続いて、回折格子パターン 21 をマスクとして、ドライエッチング装置によりエッチングを行い、回折格子層 20' を貫通する溝 23 を形成し、溝底に p-InP スペース層 18 を露出させ、図 3 (b) に示すように、回折格子 20 を形成する。次に、回折格子パターン 21 を除去し、続いて MOCVD 結晶成長装置によって、図 3 (c) に示すように、回折格子 20 を埋め込む p-InP 第 1 クラッド層 22 を再成長させる。

【0041】次に、p-InP 第 1 クラッド層 22 上に SiN_x 膜をプラズマ CVD 装置を用いて成膜し、続いてフォトリソグラフィと反応性イオンエッチング装置 (RIE) により、SiN_x 膜をストライプ形状に加工して、SiN_x 膜マスク 25 を形成する。次いで、SiN_x 膜マスク 25 をエッチングマスクとして、p-InP 第 1 クラッド層 22 (回折格子 20)、p-InP スペース層 18、活性層 16、n-InP バッファ層 14 及び n-InP 基板 12 の上部をエッチングして、活性層幅が 1.5 μm 程度のメサストライプに加工する。更に、SiN_x 膜マスク 25 を選択成長マスクにして、順次、p-InP 層 24 および n-InP 層 26 を選択成長させて、図 4 (d) に示すように、メサストライプの両脇にキャリアブロック構造を形成する。

【0042】次に、SiN_x 膜マスク 25 を除去した後、図 4 (e) に示すように、膜厚 2 μm の p-InP 第 2 クラッド層 28 と、p 側電極 32 とオーミックコンタクトを取るために高濃度にドーブした GaInAs 層をコンタクト層 30 としてエピタキシャル成長させる。基板厚が 120 μm 程度になるように n-InP 基板 12 の裏面を研磨し、続いてコンタクト層 30 上に Ti/Pt/Au 積層金属膜を p 側電極 32 として形成し、基板裏面には AuGeNi 膜を n 側電極 34 として形成する。以上の積層構造を作製したウエハを劈開によりチップ化し、出射端面には反射率 10%、後端面には反射率 90% の膜コーティングを施した後、ボンディングする。これにより、図 1 にその積層構造を示す DFB レーザ素子 10 を形成することができる。

【0043】本実施形態例では、回折格子 20 のバンドギャップ波長を活性層 16 の光利得分布のピーク波長に近づけることにより、結果的に回折格子と周囲の InP 層の屈折率差が大きくなっているため、従来の DFB レーザ素子よりも回折格子 20 を活性層 16 から離しても、所望の屈折率結合係数を得ることができる。従って、結晶成長プロセスや作製プロセスでのトレランスが緩和され、安定した製造を行うことができる。具体的には、回折格子の屈折率が 3.49、回折格子の周囲の InP 層の屈折率が 3.17 であるので、屈折率差は 0.32 と大きい。屈折率差が大きいほど回折格子を活性層から離すことができるが、目安としては、屈折率差は 0.25 以上あれば良い。

【0044】実施形態例 1 では、1550 nm 帯の DFB レーザ素子を例に挙げて説明したが、他の波長帯でも、同様に本発明に係る半導体レーザ素子を適用することができる。また、実施形態例では、共振器全体に回折格子 20 を配置したが、共振器の一部に配置しても、本実施形態例と同様の効果を得ることができる。

【0045】

【発明の効果】第 1 の発明によれば、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} に対する吸収係数 α_{\max} が発振波長 λ_e に対する吸収係数 α_e よりも大きくなる化合物半導体層で形成された吸収領域を、活性層の近傍に設ける。これにより、活性層の光利得分布のピーク波長 λ_{\max} 付近でのファブリ・ペローモードの発振を抑制することができ、設定した発振波長のモードと副モードの抑圧比 (SMSR) を大きくすることができる分布帰還型半導体レーザを実現している。また、デチューニング量を大きく取ることができるので、広い温度範囲で安定した縦モードの単一モード発振の持続が可能になる。更には、出射端面に端面反射率が 10% 以上 30% 以下の膜を設けることにより、デチューニング量の絶対値が大きくても、縦モードの単一モード性が良好で、光出力効率が大きく、しかも戻り光耐性が高い分布帰還型半導体レーザ素子を実現している。

【0046】第 2 の発明によれば、第 1 の発明の効果に加えて、吸収領域のバンドギャップ波長 λ_g と DFB レーザの発振波長 λ_e との関係が、 $0 < \lambda_e - \lambda_g \leq 100$ nm の関係にあつて、DFB レーザの発振波長 λ_e が回折格子層のバンドギャップ波長 λ_g より大きいので、発振波長 λ_e の吸収損が小さく、従って閾値電流が小さく、光出力-注入電流特性が良好な、分布帰還型半導体レーザ素子を実現している。更には、埋め込み層を InP 層としたとき、回折格子層と InP 埋め込み層との屈折率差が大きいため、回折格子と活性層との距離を大きくすることができ、その結果、回折格子層の膜厚、デューティ (Duty) 比によって結合係数が変動し難くなるため、同じ特性の DFB レーザを安定して作製することができるから、製品歩留りが高いという利点を有する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】実施形態例 1 の半導体レーザ素子の構造を示す部分断面斜視図である。

【図 2】図 1 の矢視 I-I の半導体レーザ素子の断面図である。

【図 3】図 3 (a) から (c) は、それぞれ、実施形態例 1 の半導体レーザ素子を作製する際の工程毎の断面図である。

【図 4】図 4 (d) と (e) は、それぞれ、図 3 (c) に引き続いて、実施形態例 1 の半導体レーザ素子を作製する際の工程毎の断面図であつて、図 1 の矢視 II-II の断面図である。

【図 5】図 5 (a) 及び (b) は、それぞれ、第 1 の従

来例及び第2の従来例の λ_e 、 λ_{\max} 、 λ_g の関係を
示す模式図である。

【図6】実験に供した分布帰還型半導体レーザ素子の構
成を示す部分断面斜視図である。

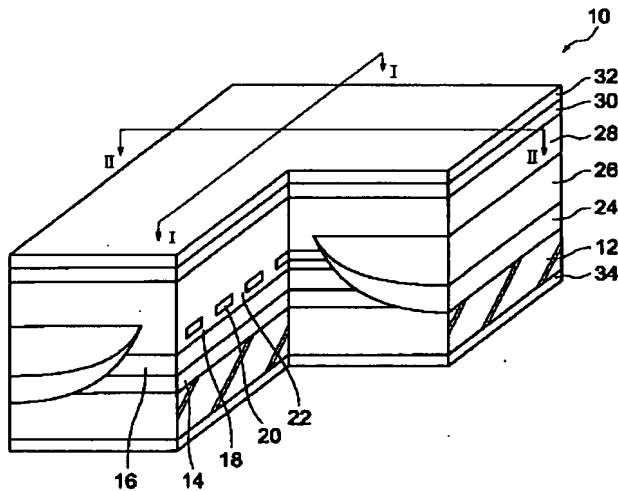
【図7】図6の矢視III-IIIの分布帰還型半導体レー
ザ素子の断面図である。

【図8】図8(a)及び(b)は、それぞれ、第2の発
明の λ_e 、 λ_{\max} 、 λ_g の関係を示す模式図である。

【符号の説明】

- 10 実施形態例1のDFBレーザ素子
12 n-InP基板
14 n-InPバッファ層
16 MQW-SCH活性層
18 p-InPスペーサ層
20 回折格子
20' GaInAs層
21 回折格子パターン
22 回折格子を埋め込んだp-InP第1クラッド層
23 溝

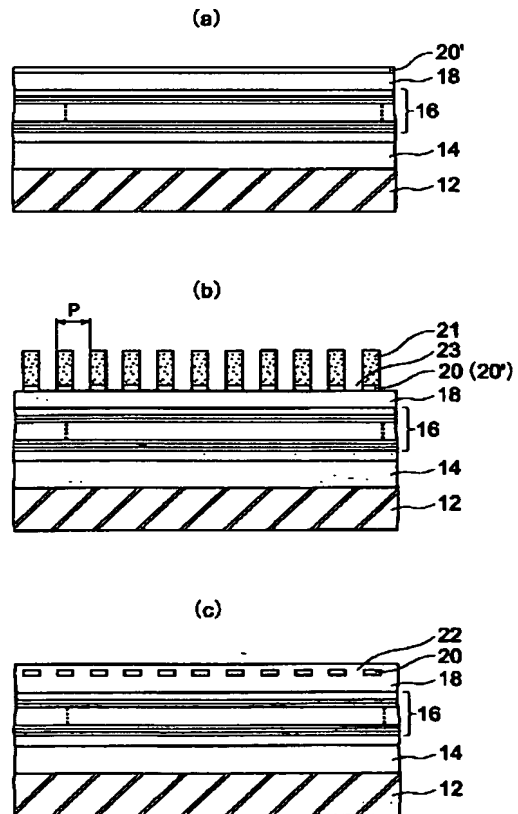
【図1】



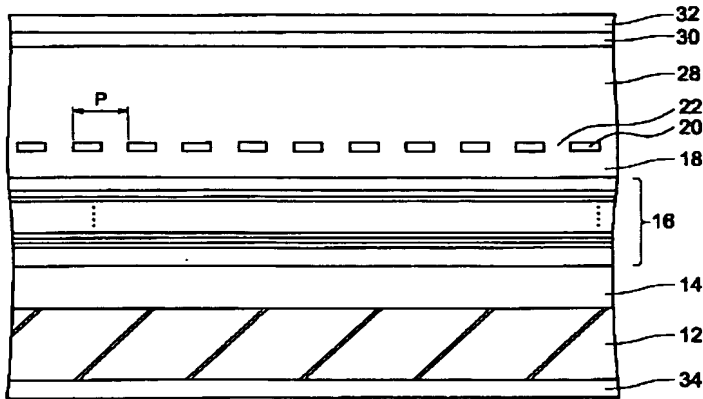
- 10 実施形態例1のDFBレーザ素子
12 n-InP基板
14 n-InPバッファ層
16 MQW-SCH活性層
18 p-InPスペーサ層
20 回折格子
22 回折格子を埋め込んだ
p-InP第1クラッド層
24 p-InP層
26 n-InP層
28 p-InP第2クラッド層
30 p-GaInAsコンタクト層
32 p側電極

- 24 p-InP層
26 n-InP層
28 p-InP第2クラッド層
30 p-GaInAsコンタクト層
32 p側電極
34 n側電極
40 実験に供したDFBレーザ素子
42 n-InP基板
44 n-InPバッファ層
46 MQW-SCH活性層
48 p-InPスペーサ層
50 回折格子
52 回折格子を埋め込んだp-InP第1クラッド層
54 p-InP層
56 n-InP層
58 p-InP第2クラッド層
60 p-GaInAsコンタクト層
62 p側電極
64 n側電極

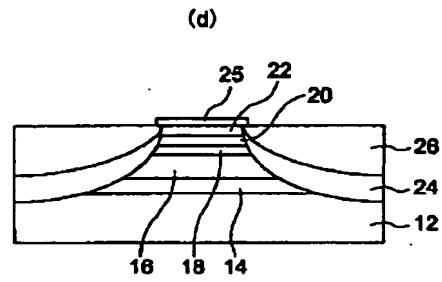
【図3】



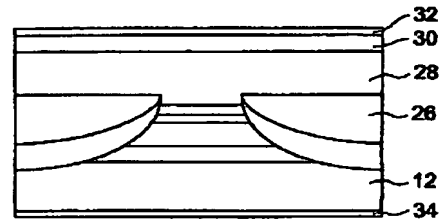
【図2】



【図4】

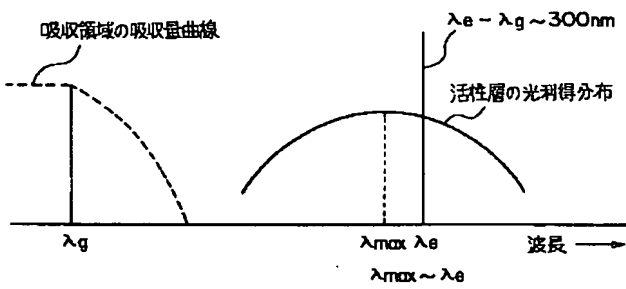


(e)

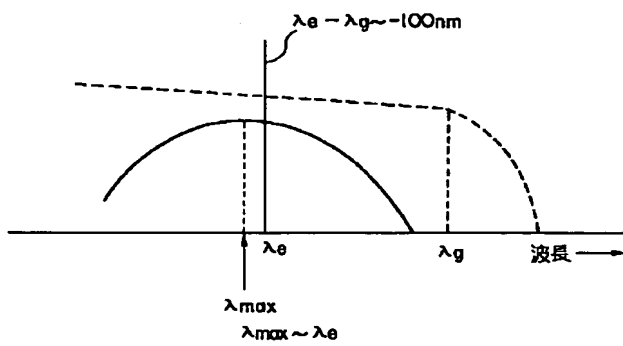


【図5】

(a)

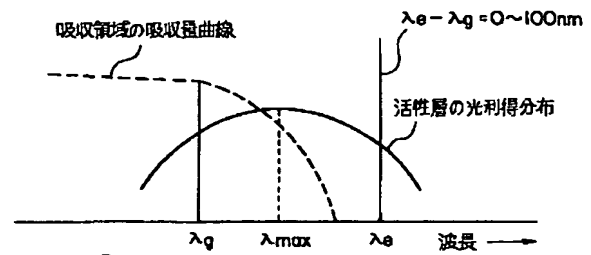


(b)

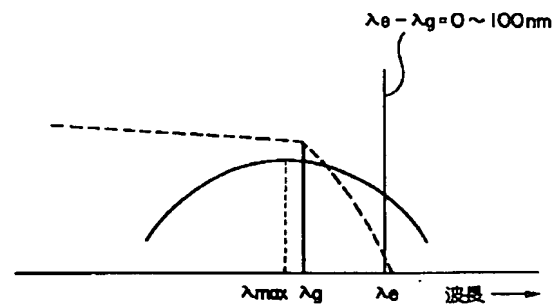


【図8】

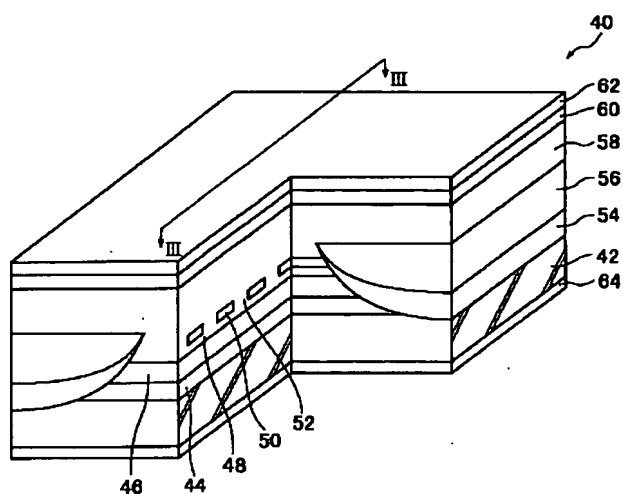
(a)



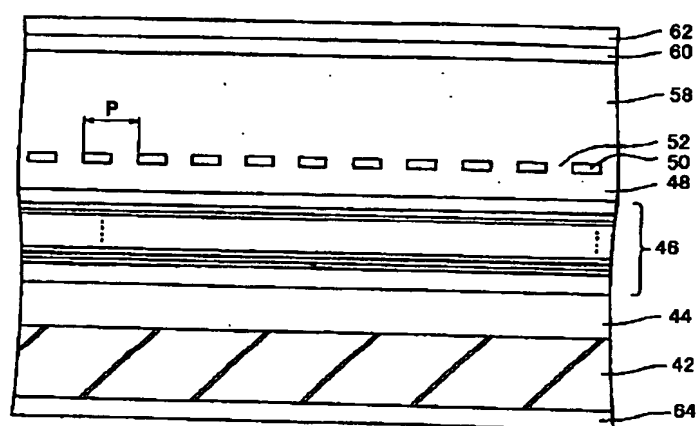
(b)



【図 6】



【図 7】



- 40 実験に供したDFBレーザ素子
- 42 n-InP基板
- 44 n-InPバッファ層
- 46 MQW-SCH活性層
- 48 p-InPスペーサ層
- 50 回折格子
- 52 回折格子を埋め込んだp-InP第1クラッド層
- 54 p-InP層
- 56 n-InP層
- 58 p-InP第2クラッド層
- 60 p-GaInAsコンタクト層
- 62 p側電極
- 64 n側電極

フロントページの続き

(72)発明者 粕川 秋彦
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

Fターム(参考) 5F073 AA64 AA74 AA83 CB02 CB22
DA05 DA32 DA33 EA03